



характеристикам и контролю точности и стабильности технологических процессов. Исследовались показатели механических свойств сортового проката в зависимости от плавочного химического состава

Статистические совокупности формировались по маркам стали и профилям проката в условиях неизменной технологии. По каждой партии—плавке в выборку включались: дата прокатки плавки; номер партии-плавки; марка стали; вид и размеры профиля; данные химического анализа плавки; результаты механических испытаний.

Выборка данных начиналась с текущего момента времени и велась в обратном хронологическом порядке. Объемы выборок составляли не менее 300 единиц. Однородность металла по химическому составу и механическим свойствам проверялась по критерию  $\chi^2$ . Выборка, составленная из хронологической последовательности результатов испытаний, разбивалась на девять блоков.

Для каждого блока подсчитывалось число результатов испытаний, попавших в блок, и составлялась матрица. По данным матрицы вычислялось фактическое значение критерия однородности.

Однородность выборок была подтверждена по всем маркам стали и профилям.

При объединении в одну совокупность близких профилеразмеров по одной марке стали однородность статистических совокупностей рассматривалась на основе сложных гипотез с использованием критериев отношения правдоподобия.[1]

Проверялись две гипотезы:

$H_1$ : выборка для  $k$  различных профилей сортового проката, сгруппированных по данной марке стали, получаются из генеральных совокупностей с одинаковыми дисперсиями.

$H_0$ : выборки для  $k$  различных профилей сортового проката, сгруппированных по данной марке стали, получаются из генеральных совокупностей с одинаковыми средними и дисперсиями.

Вначале убеждались в однородности дисперсий, так как, если дисперсии неоднородны, то критерий проверки на однородность средних будет недостаточно мощным, увеличивается вероятность того, что гипотеза однородности будет принята в том случае, когда гипотеза неверна. Однородность дисперсий проверялась с помощью критерия  $\lambda_1$ . Однородность средних и дисперсий проверялась по критерию  $\lambda_0$ .

Установлено, что сформированные выборочные статистические совокупности по профилям определенной марки стали являются однородными. Это значит, что исследование зависимостей механических свойств сортового проката от плавочного химического состава можно выполнять не только по профилям проката, но и по определенной марке стали.

Гипотеза нормальности распределений показателей механических свойств и плавочного химического состава выполнялась в соответствии с критерием Пирсона. Во всех случаях гипотеза подтвердилась.

Учитывая асимптотическую нормальность распределений исследуемых случайных величин для проверки случайности и независимости выборки, был использован критерий квадратов последовательных разностей. [2]

Вычисленные значения критерия квадратов последовательных разностей подтверждают гипотезу о стохастической независимости результатов наблюдений для всех механических характеристик и данных плавочного химического анализа по всем исследуемым маркам стали и профилям проката.

При решении вопроса о форме корреляционной связи мы исходили из того, что исследуемые двумерные случайные величины имеют асимптотически нормальные распределения, и что корреляционная зависимость может носить в этом случае только линейный характер.

Вместе с тем мы сочли полезным рассмотреть и некоторые нелинейные корреляционные зависимости механических свойств сортового проката от плавочного химического анализа для всех марок стали и всех профилей проката, так как в указанных условиях эти зависимости могут представлять самостоятельный практический интерес и, кроме того, мы получаем

дополнительную возможность проверить статистические гипотезы о форме корреляционных связей.

Были получены линейная, степенная, экспоненциальная, логарифмическая и гиперболическая зависимости.

Существенность коэффициентов уравнения, коэффициентов или индексов корреляции проверялась по  $t$ -критерию Стьюдента с учетом (для коэффициента корреляции)  $z$ -преобразования. Адекватность уравнения регрессии оценивалась по  $F$ -критерию.

Установлено, что линейные связи являются более надежными.

Таким образом, при исследовании зависимостей показателей механических свойств сортового проката от плавочного химического анализа по маркам стали и профилям проката можно ограничиться построением линейных корреляционных моделей.

При рассмотрении многофакторных корреляционных зависимостей показателей механических свойств от плавочного химического состава по маркам стали и профилям проката с целью более углубленного анализа взаимосвязей были рассмотрены линейная,

степенная и показательная модели:  $\hat{y} = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j$ ;  $\hat{y} = b_0 \prod_{j=1}^k x_j^{b_j}$ ;  $\hat{y} = b_0 \prod_{j=1}^k b_j^{x_j}$

Статистические оценки коэффициентов уравнения регрессии получены и в стандартизованном и в натуральном масштабах после предварительного построения корреляционных матриц и их исследования на мультиколлинеарность. [3]

Несущественные факторы дополнительно отсеивались методом пошагового регрессионного анализа.

Некоторые результаты линейного и нелинейного множественного корреляционного анализа зависимостей показателей механических свойств от плавочного химического анализа приведены в таблице.

**Таблица**

**Результаты линейного и нелинейного множественного корреляционного анализа зависимостей временного сопротивления от плавочного химического анализа**

Основные характеристики корреляции	Ст.5пс, ШС-27			Ст.3пс. [-30		
	линейная	степенная	показательная	линейная	степенная	показательная
$t_1$	13,28	4,18	13,29	19,75	3,18	19,63
$t_2$	3,61	0,40	3,72	5,08	0,96	5,21
$t_3$	2,68	1,74	2,72	3,92	2,05	3,86
$t_4$	13,29	0,53	13,66	30,61	0,92	30,58
$t_5$	1,46	0,05	1,25	1,46	0,04	1,25
$R$	0,46	0,47	0,46	0,41	0,41	0,41
$t_R$	17,71	17,57	17,85	8,68	8,54	8,60
$\bar{\epsilon}$	4,64	1,15	1,15	3,00	0,77	0,77
$F$	49,40	48,74	50,02	12,52	12,18	12,33
$\delta$	1,56	1,57	1,57	1,49	1,48	1,49

Сравнительный анализ данных таблицы позволяет сделать следующие выводы:

1. Модели адекватны по всем трем критериям;
2. Наиболее строгие статистические оценки коэффициентов уравнения регрессии получены для линейных моделей;
3. Линейные модели более адекватны. Они удовлетворяют также всем требованиям отраслевого стандарта и могут быть рекомендованы для аттестации качества

металлопродукции по механическим свойствам статистическими методами. [4]

Были построены также многофакторные корреляционные зависимости показателей механических свойств проката от плавочного химического анализа по маркам стали.

Оказалось, что полученные модели можно использовать для прогнозирования механических свойств сортового проката по данным плавочного химического анализа по маркам стали без проведения механических испытаний.

Для организации внедрения статистических методов на предприятии разрабатывались и утверждались стандарты предприятия по статистическому контролю качества продукции.

Мероприятия по внедрению статистических методов начинались с определения технической службы, осуществляющей координацию, методическое руководство и контроль за внедрением статистических методов на предприятии. Такой службой является технический отдел, который совместно с ЦЗЛ, ОТК и лабораторией управления качеством продукции осуществляет выбор объекта и метода для статистического контроля качества продукции и статистического регулирования технологических процессов, организует разработку научно-технической документации на статистические методы, статистический непрерывный контроль качества металлопродукции по механическим свойствам и статистическое регулирование технологических процессов с помощью контрольных карт и использованием компьютерных технологий.

Ответственность за соблюдение требований стандартов предприятия была возложена на начальников прокатных цехов, ОТК и ЦЗЛ.

Приемные числа (контрольные нормативы, являющиеся критериями для приемки партии продукции и равные предельным значениям контролируемых параметров в выборе или пробе в случае приемочного контроля по количественному признаку) также включались в стандарт предприятия.

Решающее правило (указание, предназначенное для принятия решения относительно приемки партии-плавки по результатам ее контроля), а точнее, определенная совокупность решающих правил также была приведена в стандарте предприятия. Каждая десятая партия-плавка контролируется параллельно двумя методами: статистическим и на испытательных машинах. В журнал механических испытаний заносят значения механических свойств, определенных двумя методами, в сертификат – значения, полученные при испытании металла. В начале периода прокатки определяемого профиля первая партия-плавка также контролируется двумя методами: статистическим и на испытательных машинах.

В стандарте предприятия приводятся рекомендации по контролю надежности оценки механических свойств и стабильности результатов механических испытаний. Для оценки объективности прогнозирования механических свойств используются контрольные карты.

В контрольной карте фиксируется номер плавки, дата испытания, марка стали и размер профиля, плавочный химический состав, фактические и расчетные значения контролируемой характеристики и отклонения между ними, границы регулирования. Границы регулирования рассчитываются по каждой характеристике и представляют собой доверительные интервалы. Данными для заполнения контрольных карт являются результаты партий-плавков, контролируемых параллельно двумя методами.

Накапливаемые в контрольной карте данные формируют «контролирующую» выборку из «гипотетической» генеральной совокупности.

Статистический контроль качества продукции – это прежде всего текущий контроль за точностью и стабильностью технологического процесса, позволяющий путем оперативного вмешательства в производство предупреждать брак.

Точность технологического процесса – это его свойство, обуславливающее близость действительных и номинальных значений параметров производственной продукции, а стабильность технологического процесса – это его свойство, определяющее постоянство распределений вероятностей его параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне. Следовательно, контроль точности и стабильности технологического процесса можно осуществлять по параметрам производственной продукции. При этом параметры продукции могут рассматриваться как числовые характеристики технологического процесса.

Для контроля точности и стабильности технологического процесса можно использовать материалы контрольных карт.

Если средние (при 1%-ном уровне значимости) и дисперсии (при 5%-ном уровне значимости), определенные по данным контрольных карт, незначимо отличаются от соответствующих характеристик базисных (определенных по обучающей выборке), то гипотезы о точности и стабильности технологического процесса не противоречат результатам наблюдений. Случаев значимого отклонения выборочных характеристик от базисных не наблюдалось.

Практический опыт работы показывает, что статистический непрерывный контроль обеспечивает требуемый уровень качества проката по механическим характеристикам.

Аттестация качества металла статистическими методами позволила на 90% сократить объем отбираемых проб, количество изготавливаемых образцов и испытаний, улучшить организацию контроля и складирования, ускорить отгрузку металла потребителям.

### **Выводы**

Разработаны методология и методики статистического исследования показателей качества сортового проката по механическим характеристикам в зависимости от плавочного химсостава и контроля точности и стабильности технологических процессов.

Даны теоретические обоснования сплошного статистического контроля качества металлопродукции с разработкой соответствующих моделей, с созданием стандартов предприятия и внедрением полученных разработок в производство. Внедрение результатов исследования в производство позволило на 90% сократить все затраты на контроль качества сортового проката.

### **Список использованных источников:**

1. *Кендалл М., Стюарт А.* Многомерный статистический анализ и временные ряды: пер. с англ. / *М. Кендалл, А. Стюарт.* – Пер. с англ. – М.: Наука, 1976. – 736с.
2. *Айвоян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика: Исследование зависимостей / *С.А. Айвоян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин.* – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487с.
3. *Дугерти К.* Введение в эконометрику: пер. с англ. / *К. Дугерти.* – Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 1997. – 402с.
4. *Карпенко Б.И.* Развитие идей и категорий математической статистики / *Б.И. Карпенко.* – М.: Наука, 1979. – 375с.

Рецензент Н.Г. Билопольский  
д-р экон. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 19.04.2010